

## Beschreibung

Verfahren zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs sowie Brenner, insbesondere für eine Gasturbine, zur Durchführung  
5 des Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs, bei dem Brennstoff in einer katalytischen Reaktion umgesetzt und anschließend katalytisch vor-  
10 reagierter Brennstoff in einer Nachreaktion weiterverbrannt wird. Die Erfindung betrifft weiterhin einen Brenner zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs, bei dem in Strömungsrichtung des Brennstoffs in einem Strömungskanal vor dem Brennstoffauslass eines Hauptbrenners der Brennstoffauslass  
15 eines katalytischen Brenners unter katalytischer Umsetzung des Brennstoffs angeordnet ist. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Brennkammer, die einen derartigen Brenner aufweist sowie eine Gasturbine mit einer derartigen Brennkammer.

20 Unter einem fluidischen Brennstoff soll nachfolgend insbesondere Heizöl und/oder Heizgas verstanden werden, wie er insbesondere für Gasturbinen Anwendung findet. Unter Heizöl werden dabei alle brennbaren Flüssigkeiten, z. B. Erdöl, Methanol etc., und unter Heizgas alle brennbaren Gase, z. B.  
25 Erdgas, Kohlegas, Synthesegas, Biogas, Propan, Butan etc. verstanden. Derartige Brenner mit katalytischer Reaktion sind beispielsweise in dem Dokument EP-A-491 481 gezeigt.

Derartige Brennersysteme sind auch für Anwendungen in Turbomaschinen, wie beispielsweise Gasturbinen geeignet. Eine Gasturbine besteht üblicherweise aus einem Kompressorteil, einem Brennerteil und einem Turbinenteil. Der Kompressorteil und der Turbinenteil befinden sich üblicherweise auf einer gemeinsamen Welle, die gleichzeitig einen Generator zur Elek-  
35 trizitätserzeugung antreibt. Im Kompressorteil wird vorgewärmte Frischluft auf den im Brennerteil erforderlichen Druck verdichtet. Im Brennerteil wird die verdichtete und vorge-

wärmte Frischluft mit einem Brennstoff, wie z. B. Erdgas oder Heizöl verbrannt. Das heiße Brennerabgas wird dem Turbinenteil zugeführt und dort arbeitsleistend entspannt.

- 5 Bei der Verbrennung der verdichteten und vorgewärmten Frischluft mit dem Brenngas entstehen als besonders unerwünschte Verbrennungsprodukte Schadstoffe, beispielsweise Stickoxide  $\text{NO}_x$  oder Kohlenmonoxid  $\text{CO}$ . Die Stickoxide gelten neben Schwefeldioxid als Hauptverursacher für das Umweltproblem des
- 10 sauren Regens. Man ist daher - auch aufgrund strenger gesetzlicher Grenzwertvorgaben für den  $\text{NO}_x$ -Ausstoß - gewillt, den  $\text{NO}_x$ -Ausstoß von einer Gasturbine besonders gering zu halten und dabei gleichzeitig die Leistung der Gasturbine weitgehend nicht zu beeinflussen.
- 15 So wirkt beispielsweise die Flammentemperatur- bzw. Flammentemperaturspitzenabsenkung im Brennerteil als stickoxidmindernd. Hierbei wird dem Brenngas oder der komprimierten und vorgewärmten Frischluft Wasserdampf
- 20 zugeführt oder Wasser in den Brennraum eingespritzt. Solche Maßnahmen, die ein Stickoxidausstoß der Gasturbine per se verringern, werden als Primärmaßnahmen zur Stickoxidminderung bezeichnet. Dementsprechend werden als Sekundärmaßnahmen alle Maßnahmen bezeichnet, bei denen einmal im Abgas einer
- 25 Gasturbine - oder auch allgemein eines Verbrennungsprozesses - enthaltene Stickoxide durch nachträgliche Maßnahmen verringert werden.

- Hierzu hat sich weltweit das Verfahren der selektiven katalytischen Reduktion (SCR) durchgesetzt, bei dem die Stickoxide zusammen mit einem Reduktionsmittel, bevorzugt Ammoniak, an einem Katalysator kontaktiert werden und dabei unschädlichen Stickstoff und Wasser bilden. Mit dem Einsatz dieser Technologie ist aber zwangsläufig der Verbrauch von
- 30 Reduktionsmitteln verbunden. Die im Abgaskanal angeordneten Katalysatoren zur Stickoxidminderung verursachen naturgemäß einen Druckabfall in dem Abgaskanal, der einen
- 35

Leistungsabfall der Turbine nach sich zieht. Selbst ein Leistungsabfall in Höhe von einigen Promille wirkt sich bei einer Leistung der Gasturbine von beispielsweise 150 MW und einem Stromverkaufspreis von etwa 8 Cent pro kWh Strom  
5 gravierend auf das mit einer solchen Einrichtung erzielbare Ergebnis aus.

Neuere Überlegungen bezüglich der Ausgestaltung des Brenners gehen dahin, dass ein üblicher normalerweise in der Gastur-  
10 bine eingesetzter Diffusionsbrenner oder ein drallstabilisierter Vormischbrenner durch ein katalytisches Verbrennungssystem ersetzt wird. Mit einem katalytischen Verbrennungssystem werden schon durch den Verbrennungsprozess als solchen niedrigere Stickoxidemissionen erreicht, als dies  
15 mit den oben genannten konventionellen Verbrennertypen möglich ist. Auf diese Weise können die bekannten Nachteile des SCR-Verfahrens (große Katalysatorvolumina, Reduktionsmittel-Verbrauch, hoher Druckverlust) überwunden werden.

20 Eine Anwendung eines katalytischen Prozesses ist beispielsweise in der EP 0 832 397 B1 offenbart, die einen katalytischen Gasturbinenbrenner zeigt. Hierbei wird durch ein Leitungssystem ein Teil des Brenngases abgezogen, über eine katalytische Stufe geleitet und anschließend wieder dem Brenngas zur Absenkung seiner katalytischen Zündtemperatur zugeführt. Die katalytische Stufe ist hierbei als Preformierungsstufe ausgebildet, welche eine Katalysatoranlage umfasst, die zur Umformung eines im Brenngas enthaltenen Kohlenwasserstoffs in ein Alkohol und/oder ein Aldehyd oder  $H_2$  und CO  
25 vorgesehen ist.  
30

Die EP 0 832 399 B1 offenbart einen Brenner zur Verbrennung eines Brennstoffs, bei dem in Strömungsrichtung des Brennstoffes in einem Strömungskanal vor dem Brennstoffauslass eines Hauptbrenners der Brennstoffauslass eines katalytischen Stützbrenners zur Stabilisierung des Hauptbrenners unter ka-  
35

talytischer Verbrennung eines Pilotbrennstoffstroms vorgesehen ist. Hierbei ist bezogen auf den Querschnitt des Strömungskanals für den Brennstoff der katalytische Stützbrenner zentral und der Hauptbrenner koronar angeordnet.

5

Die oben beschriebenen katalytischen Verbrennungssysteme bestehen hierbei aus einem Katalysator, der axial angeordnet ist. In dem Katalysator wird nur ein Teil der im Brennstoff enthaltenen Energie freigesetzt, wodurch die Stabilisierung des Ausbrandes des restlichen Teils der chemisch gebundenen Energie in axialer Richtung stromabwärts vom Katalysator in einem Brennraum verbessert wird. Diese Hauptreaktion setzt nach einer bestimmten Zeit, der so genannten autoignitiontime, ein, die im Wesentlichen von der Temperatur und der Gaszusammensetzung am Katalysator-Austritt abhängt.

Problematisch ist in diesem Zusammenhang in der Regel die Nutzung solcher bekannten Anordnungen für den Betrieb mit deutlich unterschiedlichen Brennstoffen, da der Katalysator i.a. für bestimmte Brennstoffe spezifisch angepasst werden muss. Insbesondere erschwert dies auch die Nutzung eines Katalysators, der für Erdgas ausgelegt worden ist, als Reaktor zur Umsetzung langkettiger Kohlenwasserstoffe (insbesondere also vorverdampftes Heizöl), da die entsprechenden reaktionskinetischen Eigenschaften deutlich anders sind. Daher sind solche Anordnungen nur bedingt geeignet, einen Betrieb der Gasturbine mit einem Flüssigbrennstoff zu ermöglichen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs einzugeben, mit dem eine möglichst vollständige Umsetzung des fluidischen Brennstoffs bei geringen Schadstoff-Emissionen erreichbar ist. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht in der Angabe eines Brenners, insbesondere für eine Gasturbine, der zur Durchführung des Verfahrens geeignet ist.

Die auf ein Verfahren gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs, bei dem Brennstoff in einer katalytischen Reaktion umgesetzt und anschließend katalytisch vorreagerter Brennstoff in einer Nachreaktion weiter verbrannt wird, wobei dem vorreagierten Brennstoff eine Drallkomponente, aufgeprägt wird.

Die Erfindung geht dabei von der Erkenntnis aus, dass die Nachreaktion erst nach einer bestimmten Zeit einsetzt, die im Wesentlichen von der Temperatur und der Gaszusammensetzung der Reaktionsprodukte nach der katalytischen Reaktion abhängt. Die Nachreaktion, die sich an die katalytische Reaktion anschließt, soll dabei unter möglichst vollständiger Umsetzung in Wärme erfolgen. Der Brennstoff, der in der Nachreaktion weiter verbrannt wird, muss hierzu vollständig ausbrennen, wobei Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe im Abgas zu vermeiden sind.

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass z. B. flüssige Brennstoffe, wie Heizöl, die nicht sicher oder nur unzureichend in einer katalytischen Reaktion umgesetzt werden können, in der Regel in einem begrenzt vorhandenen Reaktionsvolumen nicht zum Ausbrennen gebracht werden können, sofern nicht eine aerodynamische Stabilisierung erfolgt. Ebenfalls ist mit praktikabel vorhandenen Dimensionen das Problem gegeben, dass auch mit katalytischer Teilumsetzung die nach Abzug der Selbstzündzeit zur Verfügung stehenden Reaktionszeiten für die Nachreaktion zu klein sind, um CO-frei zu verbrennen.

Mit der Erfindung wird nunmehr ein völlig neuer Weg aufgezeigt, die Verbrennung eines fluidischen Brennstoffes zu erreichen, wobei die katalytische Reaktion und die Nachreaktion zur Vervollständigung des Ausbrands des Brennstoffs gezielt aufeinander abgestimmt werden. Ein fluidischer Brennstoff kann dabei auch vorzugsweise ein Brennstoff-Luft-

Gemisch sein, welches erhalten wird, indem der fluidische Brennstoff mit Verbrennungsluft zu dem Brennstoff-Luft-Gemisch vermischt wird, welches katalytisch umgesetzt wird. Hierzu wird vorgeschlagen, dass dem vorreagierten Brennstoff  
5 bzw. einem vorreagierten Brennstoff-Luftgemisch aus der katalytischen Reaktion eine Drallkomponente aufgeprägt wird. Durch den Drall des vorreagierten Brennstoffs wird erreicht, dass der aus der katalytischen Reaktion entweichenden Brennstoff mehr Reaktionszeit zur Verfügung steht, als dies  
10 bei einer drallfreien, das heißt rein axialen Reaktionskoordinate der herkömmlichen katalytischen Verbrennungssystemen der Fall war. Aufgrund des Dralls wird der vorreagierte Brennstoff die Selbstzündzeit - in einer axialen Koordinate betrachtet -, auf einer deutlich  
15 reduzierten Wegstrecke erreichen, weil durch den Drall die axiale Geschwindigkeitskomponente des vorreagierten Brennstoffs reduziert und eine durch den Drall induzierte Umfangsgeschwindigkeitskomponente bewirkt ist, und vor allem eine Rückströmzone erzeugt wird. Damit steht für die  
20 Nachreaktion, in der der vorreagierte Brennstoff weiterhin verbrannt wird, genügend Reaktionsvolumen zur Verfügung, so dass der Brennstoff - ohne nennenswerte axiale Bauraumvergrößerung des Verbrennungssystems - vollständig zum Ausbrand gebracht werden kann.  
25

Damit steht bei katalytischer Teilumwandlung nach Abzug der Selbstzündzeit eine gegenüber herkömmlichen katalytischen Verbrennungssystemen deutlich größere Reaktionszeit für die Nachreaktion zur Verfügung, so dass insbesondere ein CO-  
30 freies vollständiges Verbrennen erzielt ist. Mit konventionellen Systemen ohne Drallbeaufschlagung war hierfür eine erhebliche Vergrößerung der Baulänge des Ausbrandraumes für die Nachreaktion erforderlich, was solche Systeme konstruktiv sehr aufwendig, kostenintensiv und in der  
35 Handhabung beschwerlich macht. Mit der vorliegenden Erfindung können diese Nachteile nunmehr überwunden werden, wobei unterschiedliche fluidische Brennstoffe, das heißt sowohl

flüssige als auch gasförmige Brennstoffe in dem Verfahren verwendet werden können, wobei bedarfsweise flüssige Brennstoffe auch konventionell in Form einer drallstabilisierten Flamme unter Umgehung des Katalysators verbrannt werden können.

In vorteilhafter Ausgestaltung wird der vorreagierte drallbehaftete Brennstoff zur Nachreaktion in einem Brennraum übergeleitet, wobei eine Drehströmung ausgebildet wird.

10 Dabei wird vorzugsweise durch Einstellen der Verweilzeit des vorreagierten Brennstoffs für die Überleitung eine räumlich kontrollierte Zündung der Nachreaktion im Brennraum herbeigeführt. Die Verweilzeit kann dabei durch Einstellung des  
15 Dralls und die dadurch herbeigeführte Konfektionierung der Drehströmung im Hinblick auf Betrag und Richtung des Brennstoffstroms, eingestellt werden. Auf diese Weise ist zumindest im Mittel, bezogen auf eine Verweilzeitverteilung der drallbehafteten Reaktionsprodukte der katalytischen  
20 Reaktion, der Selbstzündzeitpunkt räumlich gut fixierbar und somit eine hinreichende Stabilisierung des Ausbrands für die Nachreaktion gewährleistet.

Bevorzugt wird als Nachreaktion eine homogene nicht-katalytische Nachreaktion gezündet. Weiter bevorzugt wird der Brennstoff in der Nachreaktion vollständig verbrannt. Somit ist eine katalytische Vorreaktion mit einer nicht katalytischen Nachreaktion vorteilhaft kombiniert, wobei durch die Drallkomponente des katalytisch vorreagierten  
30 Brennstoffs oder eines unter Umständen bedarfsweise stramab von Katalysator eingedüsten Flüssigbrennstoffs eine räumlich kontrollierte Zündung der homogenen nicht katalytischen Nachreaktion sichergestellt ist.

35 In bevorzugter Ausgestaltung wird als fluidischer Brennstoff ein gasförmiger Brennstoff oder ein Flüssigbrennstoff, insbesondere Heizgas oder Heizöl, verbrannt.

Die zweitgenannte, auf einen Brenner gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Brenner zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs, bei dem in Strömungsrichtung  
5 des Brennstoffs in einem Strömungskanal vor dem Brennstoffauslass eines Hauptbrenners der Brennstoffauslass eines katalytischen Brenners unter katalytischer Umsetzung des Brennstoffs angeordnet ist, wobei der katalytische Brenner eine Anzahl von katalytisch wirkenden Elementen aufweist, die der-  
10 art angeordnet sind, dass sich im Strömungskanal eine Drehströmung ausbildet.

Die Strömungsrichtung des Brennstoffs im Strömungskanal bezeichnet hierbei die axiale Strömungsrichtung entlang des  
15 Strömungskanals, die durch eine Längsachse des Strömungskanals festgelegt ist. Die sich unter der Anordnung der katalytisch wirkenden Elemente ausbildende Drehströmung ist als Drehströmung oder drallbehaftete Strömung um die Strömungsrichtung oder Hauptströmungsrichtung des Brennstoffs  
20 in dem Strömungskanal zu verstehen.

Hierbei wird vorzugsweise die Drehströmung im Nachlauf der katalytisch wirkenden Elemente nach deren Brennstoffauslass ausgebildet, indem beispielsweise der Brennstoffauslass senkrecht zu einer Längsachse des Strömungskanals in den Strömungskanal einmündet, wobei bezogen auf die Längsachse der Brennstoffauslass versetzt angeordnet ist, so dass ein Drall erzeugt ist. Durch die Herbeiführung einer Drehströmung oder Drallströmung im Nachlauf der katalytisch wirkenden Elemente  
25 wird dem fluidischen Brennstoff gezielt eine Drallkomponente aufgeprägt, so dass eine (mittlere) Umfangsgeschwindigkeitskomponente erzeugt ist und die axiale Geschwindigkeitskomponente entlang der Längsachse, das heißt entlang der Strömungsrichtung des Brennstoffs in dem  
30 Strömungskanal, ist entsprechend der Drallgebung durch die geometrische Anordnung der katalytisch wirkenden Elemente reduziert.



In besonders bevorzugter Ausgestaltung sind die katalytisch wirkenden Elemente in einer Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet, wobei der Brennstoffauslass der katalytisch wirkenden Elemente in den Strömungskanal einmündet. Hierbei ist es möglich, dass eine Vielzahl von katalytisch wirkenden Elementen entlang eines Kreisumfangs in der Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet sind, wobei jeweils durch die Richtung der Einmündung der Brennstoffauslässe eine Tangentialkomponente bei der Einströmung in den Strömungskanal erzielbar ist. Durch eine entsprechende Anzahl und Anordnung der katalytisch wirkenden Elemente, die in ihrer Gesamtheit den katalytischen Brenner zur katalytischen Umsetzung des Brennstoffs bilden, kann die Drehströmung in vorbestimmter Weise konfektioniert werden, so dass sich im Brennraum eine gewünschte Verweilzeitverteilung ergibt, die eine räumlich kontrollierte Zündung einer homogenen nicht-katalytischen Nachreaktion ermöglicht. Das System kann vorteilhafterweise auch so angeordnet werden, dass bedarfsweise bei Verwendung eines z. B. flüssigen Brennstoffes auch eine konventionelle, das heißt nicht-katalytische Verbrennung, einstellbar ist. Somit ist der Brenner insbesondere auch für Flüssigbrennstoffe geeignet, und überwindet damit den Nachteil bisheriger katalytischer Verbrennungssysteme, insbesondere für Gasturbinen, die nur als Einstoffbrenner für gasförmige Brennstoffe bekannt sind.

Vorzugsweise ist zum Einstellen einer vorgegebenen Verweilzeit von Brennstoff im Strömungskanal die axiale Länge des Strömungskanals entsprechend angepasst. Durch konstruktive Auslegung und Anpassung der Länge des Strömungskanals, das heißt der Festlegung des Abstandes des Brennstoffauslasses des Hauptbrenners vom Brennstoffauslass des katalytischen Brenners, ist unter Berücksichtigung der Drehströmung in Folge des aufgeprägten Dralls und der relevanten Selbstzündzeit eine für die Ingangsetzung und Unterstützung der Verbrennung des Hauptbrenners angemessene Verweilzeit

- einstellbar. Somit ist der Brenner besonders flexibel anpassbar an die nach einer bestimmten Zeit (autoignition-time) einsetzende Hauptreaktion im Hauptbrenner, die im Wesentlichen von der Temperatur und der Gaszusammensetzung am Brennstoffauslass des katalytischen Brenners abhängt und die sich als Nachreaktion der vorgeschalteten katalytischen Reaktion vollzieht. Aufgrund dieser gezielten Anpassung ist eine vollständige Umsetzung in der Hauptreaktion möglich.
- 10 In bevorzugter Ausgestaltung ist ein katalytisch wirkendes Element als ein Wabenkatalysator ausgestaltet, der als Grundbestandteil mindestens eine der Substanzen Titandioxid, Siliziumdioxid und Zirkonoxid aufweist.
- 15 Weiter bevorzugt weist als katalytisch aktive Komponente der Wabenkatalysator ein Edelmetall oder Metalloxid auf, welches eine oxidierende Wirkung auf den fluidischen Brennstoff aufweist. Es sind dies beispielsweise Edelmetalle wie Platin, Rhodium, Rhenium, Iridium und Metalloxide, wie z. B. die Übergangsmetalloxide Vananadiumoxid, Wolframoxid, Molybdänoxid, Chromoxid, Kupferoxid, Manganoxid und Oxide der Lanthanoiden, wie z. B. Ceroxid. Ebenso können auch Metall-Ionen-Zeolithe und Metalloxide von Spinelltyp verwendet sein.
- 20
- 25 Besonders vorteilhaft erweist die Wabenstruktur der katalytisch wirkenden Elemente, da diese durch eine Vielzahl von sich entlang einer Achse des katalytisch wirkenden Elements erstreckenden Kanäle gebildet ist. Dies begünstigt die katalytische Reaktion aufgrund der Erhöhung der katalytisch aktiven Oberfläche durch die Kanäle und andererseits eine Strömungsvergleichmäßigung innerhalb des Wabenkatalysators, so dass ein wohl definiertes Ausströmen des katalytisch vorreagierten Brennstoffs aus dem Brennstoffauslass erreicht ist, wobei in entsprechend definierter Weise eine
- 30
- 35 Drallkomponente beim Eintritt in den Strömungskanal bewirkt ist.

- In besonders bevorzugter Ausgestaltung ist der Brenner gemäß der Erfindung in einer Brennkammer vorgesehen. Die Brennkammer umfasst dabei einen Brennraum, in den der Brenner vorzugsweise mit dem Brennstoffauslass des Hauptbrenners hineinragt bzw. einmündet. Der Brennraum ist ausreichend dimensioniert, so dass eine homogene, vorzugsweise nicht-katalytische Hauptreaktion in Gang gesetzt und in dem Brennraum ein vollständiger Ausbrand des Brennstoffs und damit maximale Umsetzung in Verbrennungswärme erreicht wird.
- Vorzugsweise ist eine solche Brennkammer geeignet für die Verwendung in einer Gasturbine, wobei ein in der Brennkammer erzeugtes heißes Verbrennungsgas zum Antrieb eines Turbinenteils der Gasturbine dient.
- Die Vorteile einer derartigen Brennkammer und derartigen Gasturbine ergeben sich aus den oben genannten Ausführungen zu dem Verbrennungsverfahren und zu dem Brenner.
- Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen in vereinfachter und nicht maßstäblicher Darstellung:
- Figur 1 einen Halbschnitt durch eine Gasturbine,
- Figur 2 in einer Schnittansicht eine vereinfachte Darstellung eines Brenners gemäß der Erfindung und
- Figur 3 der in Figur 2 dargestellten Brenner in einer Ansicht in Hauptströmungsrichtung des Brennstoffs.
- Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.
- Die Gasturbine gemäß Figur 1 weist einen Verdichter 2 für Verbrennungsluft, eine Brennkammer 4 sowie eine Turbine 6 zum Antrieb des Verdichters 2 und eines nicht näher dargestellten

Generators oder einer Arbeitsmaschine auf. Dazu sind die Turbine 6 und der Verdichter 2 auf einer gemeinsamen, auch als Turbinenläufer bezeichneten Turbinenwelle 8 angeordnet, mit der auch der Generator bzw. die Arbeitsmaschine verbunden ist, und die um ihre Mittelachse 9 drehbar gelagert ist. Die in der Art einer Ringbrennkammer ausgeführte Brennkammer 4 ist mit einer Anzahl von Brennern 10 zur Verbrennung eines flüssigen oder gasförmigen Brennstoffs bestückt. Der Brenner 10 ist als ein katalytisches Verbrennungssystem ausgestaltet und für eine katalytische sowie eine nicht-katalytische Verbrennungsreaktion oder Kombinationen davon ausgelegt. Der Aufbau und die Funktionsweise des Brenners 10 soll im Zusammenhang mit den Figuren 2 und 3 näher diskutiert werden.

Die Turbine 6, weist eine Anzahl von mit der Turbinenwelle 8 verbundenen, rotierbaren Laufschaufeln 12 auf. Die Laufschaufeln 12 sind kranzförmig an der Turbinenwelle 8 angeordnet und bilden somit eine Anzahl von Laufschaufelreihen. Weiterhin umfasst die Turbine 6 eine Anzahl von feststehenden Leitschaufeln 14, die ebenfalls kranzförmig unter der Bildung von Leitschaufelreihen an einem Innengehäuse 16 der Turbine 6 befestigt sind. Die Laufschaufeln 12 dienen dabei zum Antrieb der Turbinenwelle 8 durch Impulsübertrag vom die Turbine 6 durchströmenden heißen Medium, dem Arbeitsmedium M. Die Leitschaufeln 14 dienen hingegen zur Strömungsführung des Arbeitsmediums M zwischen jeweils zwei in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums gesehen aufeinanderfolgenden Laufschaufelreihen oder Laufschaufelgrenzen. Ein aufeinanderfolgendes Paar aus einem Kranz von Leitschaufeln 14 oder einer Leitschaufelreihe und aus einem Kranz von Laufschaufel 12 oder einer Laufschaufelreihe wird dabei auch als Turbinenstufe bezeichnet. Jede Leitschaufel 14 weist eine auch als Schaufelfuß bezeichnete Plattform 18 auf, die zur Fixierung der jeweiligen Leitschaufel 14 am Innengehäuse 16 der Turbine als Wandelement angeordnet ist. Die Plattform 18 ist dabei ein thermisches, vergleichsweise stark belastetes Bauteil, das die äußere Begrenzung eines Heißgaskanals für das die Turbine 6

durchströmende Arbeitsmedium M bildet. Jede Laufschaufel ist in analoger Weise über eine auch als Schaufelfuß bezeichnete Plattform an der Turbinenwelle befestigt. Zwischen den beabstandet voneinander angeordneten Plattformen 18 der Leitschaufel 14 zweier benachbarter Leitschaufelreihen ist jeweils ein Führungsring 21 am Innengehäuse 16 der Turbine 6 angeordnet. Die äußere Oberfläche jedes Führungsrings 21 ist dabei ebenfalls dem heißen, die Turbine 6 durchströmenden Arbeitsmedium M ausgesetzt und in radialer Richtung vom äußeren Ende 22 der ihm gegenüberliegenden Laufschaufel 12 durch einen Spalt beabstandet. Die zwischen benachbarten Leitschaufelreihen eingeordneten Führungsringe 21 dienen dabei insbesondere als Abdeckelemente, die die Innenwand 16 oder andere Gehäuse-Einbauteile vor einer thermischen Überbeanspruchung durch die das Turbine 6 durchströmende heiße Arbeitsmedium M schützen. Die Brennkammer 4 ist von einem Brennkammergehäuse 29 begrenzt, wobei brennkammerseitig eine Brennkammerwand 24 gebildet ist. Im Ausführungsbeispiel ist die Brennkammer 4 als so genannte Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Vielzahl von in Umfangsrichtung um die Turbinenwelle 8 herum angeordnete Brenner in einen gemeinsamen Brennkammerraum oder Brennraum 27 einmünden. Dazu ist die Brennkammer 4 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Turbinenwelle 8 herum positioniert ist.

Zur Erzeugung des heißen Arbeitsmediums M wird ein fluider Brennstoff B sowie Verbrennungsluft A dem Brenner 10 zugestellt und zu einem Brennstoff-Luftgemisch gemischt und verbrannt. Zur vollständigen und weitgehend schadstoffarmen Verbrennung ist der Brenner 10 als katalytisches Verbrennungssystem ausgestaltet mit dem eine vollständige Umsetzung des Brennstoffs B erreichbar ist. Das aus dem Verbrennungsprozess resultierende Heißgas, das Arbeitsmedium M, weist vergleichsweise hohe Temperaturen von 1000 °C bis zu 1500 °C auf, um einen entsprechend hohen Wirkungsgrad der Gasturbine 1 zu erzielen. Hierzu ist die Brennkammer 4 für entsprechend

hohe Temperaturen ausgelegt. Um auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebsparametern eine vergleichsweise hohe Betriebsdauer zu ermöglichen, ist die Brennkammerwand 24 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus  
5 Hitzeschildelementen 26 gebildeten Brennkammerauskleidung versehen. Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 4 ist zudem für die Hitzeschildelemente 26 ein nicht näher dargestelltes Kühlsystem vorgesehen.

10 Der in der Brennkammer 4 der Gasturbine 1 zum Einsatz kommende Brenner 10 gemäß der Erfindung ist in Figur 2 in einer stark vereinfachten Schnittansicht dargestellt, um das zugrunde liegende katalytische Verbrennungskonzept beispielhaft zu erläutern. Der Brenner 10 zur Verbrennung des fluidischen  
15 Brennstoffs B weist einen katalytischen Brenner 35A, 35B sowie einen Hauptbrenner 37 auf. Der Hauptbrenner 37 umfasst einen ersten Strömungskanal 31A sowie einen den ersten Strömungskanal konzentrisch umgebenden zweiten Strömungskanal 31B. Der katalytische Brenner 35A ist dem ersten Strömungs-  
20 kanal 31A zugeordnet und der katalytische Brenner 35B dem zweiten Strömungskanal 31B. Der Strömungskanal 31A, 31B erstreckt sich entlang einer Hauptsache oder Strömungsrichtung 33. Bei Zufuhr eines fluidischen Brennstoffs B ist die Strömungsrichtung 33 zugleich die axiale Strömungsrichtung oder  
25 Hauptströmungsrichtung des Brennstoffs B in dem Strömungskanal 31A, 31B. Der katalytische Brenner 35A weist katalytisch wirkende Elemente 43C, 43D auf. Der katalytische Brenner 35B weist katalytisch wirkende Elemente 43A, 43B auf. Die katalytisch wirkenden Elemente 43A, 43B, 43C, 43D sind z.B. als  
30 Wabenkatalysatoren ausgestaltet, die aus einem Grundbestandteil und einer katalytisch aktiven Komponente bestehen, wobei die katalytisch aktive Komponente eine oxidierende Wirkung auf den fluidischen Brennstoff B ausübt. Die katalytisch wirkenden Elemente 43A, 43B stehen in  
35 Strömungsverbindung mit dem Strömungskanal 31B, während die katalytisch aktiven Elemente 43C, 43D in Strömungsverbindung mit dem Strömungskanal 31A stehen. Hierzu mündet jeweils ein

- Brennstoffauslass 41 der katalytischen Brenner 35A, 35B in den zugeordneten Strömungskanal 31A, 31B. Der Hauptbrenner 37 ist entlang der Strömungsrichtung 33 des Brennstoffs B nach dem Brennstoffauslass 41 des katalytischen Brenners 35A, 35B angeordnet und über den Strömungskanal 31A, 31B mit dem katalytischen Brenner 35A, 35B in Strömungsverbindung. Der Hauptbrenner 37 weist einen Brennstoffauslass 39 auf. Entsprechend ist in Strömungsrichtung 33 des Brennstoffs B in dem Strömungskanal 31A, 31B vor dem Brennstoffauslass 39 des Hauptbrenners 37 der Brennstoffauslass 41 des katalytischen Brenners 35A, 35B vorgesehen. Der katalytische Brenner 35A, 35B dient der katalytischen Umsetzung oder Teilumsetzung des Brennstoffs B und setzt eine katalytische Vorreaktion in Gang, die nach einer Selbstzündzeit (autoignition-time) eine Zündung des vorreagierten Brennstoffs B im Hauptbrenner 37 bewirkt. Diese führt zu einer Stabilisierung des Ausbrands und zu einer Vervollständigung des Ausbrands in einer Ausbrandzone 45, die in der Nähe des Brennstoffauslasses 39 des Hauptbrenners 37 gebildet ist. Zum Einstellen einer vorgegebenen Verweilzeit von Brennstoff B im Strömungskanal 31A, 31B ist die Länge L des Strömungskanals 31A, 31B angepasst, insbesondere an die zu berücksichtigenden Reaktionszeiten und Strömungsgeschwindigkeiten des Brennstoffs B. Die katalytisch wirkenden Elemente 43A, 43B, 43C, 43D sind derart angeordnet, dass sich im Strömungskanal 31A, 31B eine Drehströmung ausbildet. Diese bildet sich im Nachlauf der katalytisch wirkenden Elemente 43A, 43B, 43C, 43D nach deren Brennstoffauslass 41 aus.
- Figur 3 zeigt eine Ansicht entlang der Strömungsrichtung 33 des in Figur 2 gezeigten Brenners 10. Die katalytisch wirkenden Elemente 43A, 43B sind in einer Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung 33 angeordnet, wobei der Brennstoffauslass 41 der katalytisch wirkenden Elemente 43A, 43B in den Strömungskanal 31B mündet. Analog sind die katalytisch wirkenden Elemente 43C, 43D in einer Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung 33 angeordnet, wobei der Brennstoffauslass

41 der katalytisch wirkenden Elemente 43C, 43D in den Strömungskanal 31A einmündet. Die katalytischen Brenner 35A, 35B sind dabei entlang der Strömungsrichtung 33 zueinander beabstandet angeordnet. Durch die Anordnung der katalytisch wirkenden Elemente 43A, 43B wird bei Einströmen des fluidischen Brennstoffs B durch den Brennstoffauslass 41 in den ringförmigen äußeren Strömungskanal 31B dem fluidischen Brennstoff B eine Drallkomponente aufgeprägt. Gleiches gilt bei Zufuhr des fluidischen Brennstoffs B über die katalytisch wirkenden Elementen 43C, 43D in den inneren ringförmigen Strömungskanal 31A, wo ein entsprechender Drall dem Brennstoff B aufgeprägt wird.

Im Betrieb des Brenners 10 wird der fluidische Brennstoff B einem katalytischen Brenner 35A, 35B zugeführt und dort in einer katalytischen Reaktion zumindest teilweise umgesetzt. Anschließend wird der so katalytisch vorreagierte Brennstoff B in einer Nachreaktion in der Ausbrandzone 45 des Hauptbrenners weiter verbrannt. Dem vorreagierten Brennstoff B wird eine Drallkomponente aufgeprägt. Dabei wird der vorreagierte drallbehaftete Brennstoff B zur Nachreaktion in eine Ausbrandzone 45 übergeleitet, wobei die Drehströmung in dem Strömungskanal 31A, 31B ausgebildet wird. Durch Einstellen der Verweilzeit des vorreagierten Brennstoffs B für die Überleitung wird eine räumlich kontrollierte Zündung der Nachreaktion in der Ausbrandzone 45 herbeigeführt. Durch Auswahl und Einstellung der Drallkomponente kann eine gewünschte Drehströmung in dem Strömungskanal 31A, 31B erzeugt werden und damit beispielsweise - wie dargestellt - die axiale Länge L des Strömungskanals 31B entsprechend festgelegt werden. Hierdurch wird der Bauraum, insbesondere die axiale Erstreckung, des Brenners 10 auf handhabbare Dimensionen begrenzt und zugleich eine räumlich kontrollierte Zündung der Nachreaktion in der dem Hauptbrenner 37 zugeordneten Ausbrandzone 45 gewährleistet. Die Ausbrandzone 45 ist aufgrund der Drehströmung des fluidischen Brennstoffs B entsprechend in seiner axialen Dimension begrenzt, so dass



eine Realisierung mit üblich dimensionierten Brennkammern 4 und Brennräumen 27 (vergleiche Figur 1), insbesondere für die Anwendung in einer Gasturbine 1, realisierbar ist. In der Ausbrandzone 45 wird eine homogene nicht-katalytische  
5 Nachreaktion gezündet, die zu einem vollständigen Ausbrand des im katalytischen Brenner 35A, 35B bereits zumindest teilweise vorreagierten Brennstoffs B führt.

In den gezeigten Ausführungsbeispielen gemäß Figur 2 und  
10 Figur 3 sind zwei katalytische Brenner 35A, 35B mit einem jeweiligen Strömungskanal 31A, 31B strömungstechnisch verbunden. Eine Realisierung der Erfindung kann aber auch durch einen Brenner 10 mit nur einem katalytischen Brenner 35A und einem diesen zugeordneten Strömungskanal 31A erzielt  
15 werden oder auch mit einer Mehrzahl solcher Brenner und zugeordneten Strömungskanälen. Mit dem Brenner 10 der Erfindung ist erstmals für ein auf einem katalytischen Verbrennungsprozess basierenden Verbrennungssystem ein Betrieb mit unterschiedlichen fluidischen Brennstoffen B  
20 möglich. Das heißt sowohl flüssige als auch gasförmige Brennstoffe B kommen in Betracht. Hierbei kann der Brenner 10 z. B. bei Verwendung eines flüssigen Brennstoffs, z. B. Heizöl, bedarfsweise auch in einer konventionellen Betriebsweise mit nicht-katalytischer Verbrennung gefahren  
25 werden, was die Flexibilität erhöht. Hierzu wird der flüssige Brennstoff mit Verbrennungsluft zu einem Brennstoff-Luftgemisch gemischt. Der Verbrennungsluft wird vorzugsweise zuvor bereits eine Drallkomponente aufgeprägt, etwa durch Zufuhr der Verbrennungsluft über die drallbewirkenden  
30 Katalysatorelemente oder über andere Drallelemente. Der Verbrennungsluft wird dann stromab der drallbewirkenden Katalysatorelemente ein Flüssigbrennstoff zuge düst.

Alternativ kann auch ein Brennstoff-Luftgemisch durch  
35 Mischung eines fluidischen, insbesondere flüssigen, Brennstoffs mit Verbrennungsluft erzeugt werden, welches in einer katalytischen Reaktion zumindest teilweise umgesetzt

und anschließend das katalytisch vorreagierte Brennstoff-Luftgemisch weiter verbrannt wird, wobei dem vorreagierten Brennstoff-Luftgemisch eine Drallkomponente aufgeprägt wird. Der Brenner gemäß der Erfindung kann dabei - je nach

5 Brennstoffwahl - unter Durchströmung der katalytisch wirkenden Elemente mit einem fluidischen Brennstoff bzw. Brennstoff-Luftgemisch oder - insbesondere bei Flüssigbrennstoffen - unter Durchströmen mit Verbrennungsluft und nachfolgender Zudüsung des Flüssigbrennstoffs betrieben

10 werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs (B), bei dem Brennstoff (B) in einer katalytischen Reaktion  
5 umgesetzt und anschließend katalytisch vorreagierter Brennstoff (B) in einer Nachreaktion weiter verbrannt wird, dadurch gekennzeichnet, dass dem vorreagierten Brennstoff (B) eine Drallkomponente aufgeprägt wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vorreagierter drallbehafteter Brennstoff (B) zur Nachreaktion in einen Brennraum (27) übergeleitet wird, wobei eine Drehströmung ausgebildet wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass durch Einstellen der Verweilzeit des vorreagierten Brennstoffs (B) für die Überleitung eine räumlich kontrollierte Zündung der Nachreaktion im Brennraum (27) herbeigeführt wird.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine homogene nicht-katalytische Nachreaktion gezündet wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoff (B) in der Nachreaktion vollständig verbrannt wird.
- 30 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als fluidischer Brennstoff (B) ein Gas oder ein Flüssigbrennstoff, insbesondere Heizgas oder Heizöl, verbrannt wird.
- 35 7. Brenner (10) zur Verbrennung eines fluidischen Brennstoffs (B) bei dem in Strömungsrichtung (33) des Brennstoffs (B) in einem Strömungskanal (31A, 31B) vor dem Brennstoffauslass

(39) eines Hauptbrenners (37) der Brennstoffauslass (41) eines katalytischen Brenners (35A, 35B) unter katalytischer Umsetzung des Brennstoffs (B) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass der katalytische Brenner (35A, 35B) eine Anzahl von katalytisch wirkenden Elementen (43A, 43B, 43C, 43D) aufweist, die derart angeordnet sind, dass sich im Strömungskanal (31A, 31B) eine Drehströmung ausbildet.

8. Brenner (10) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Drehströmung im Nachlauf der katalytisch wirkenden Elemente (43A, 43B, 43C, 43D) nach deren Brennstoffauslass (41) ausbildet.

9. Brenner (10) nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die katalytisch wirkenden Elemente (43A, 43B, 43C, 43D) in einer Ebene senkrecht zur Strömungsrichtung (33) angeordnet sind, wobei der Brennstoffauslass (41) der katalytisch wirkenden Elemente (43A, 43B, 43C, 43D) in den Strömungskanal (31A, 31B) mündet.

10. Brenner (10) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Einmündung der katalytisch wirkenden Elemente (43A, 43B, 43C, 43D) in den Strömungskanal (31A, 31B) unter einem Winkel von  $15^{\circ}$  bis  $75^{\circ}$  bezogen auf eine durch die Strömungsrichtung (33) definierte Hauptachse erfolgt.

11. Brenner (10) nach einem der Ansprüche 7, 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass zum Einstellen einer vorgegebenen Verweilzeit von Brennstoff (B) im Strömungskanal (31A, 31B) die Länge (L) des Strömungskanals (31B, 31B) angepasst ist.

12. Brenner (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 11,

21

dadurch gekennzeichnet, dass ein katalytisch wirkendes Element (43A, 43B, 43C, 43D) als ein Wabenkatalysator ausgestaltet ist, der als Grundbestandteil mindestens eine der Substanzen Titandioxid, Siliziumoxid und Zirkonoxid aufweist.

13. Brenner (10) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass als katalytisch aktive Komponente der Wabenkatalysator ein Edelmetall oder Metalloxid aufweist, welches eine oxidierende Wirkung auf den fluidischen Brennstoff (B) aufweist.

14. Brennkammer (4) umfassend einen Brenner (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 13.

15. Gasturbine (1) umfassend eine Brennkammer (4) nach Anspruch 14.

FIG 1

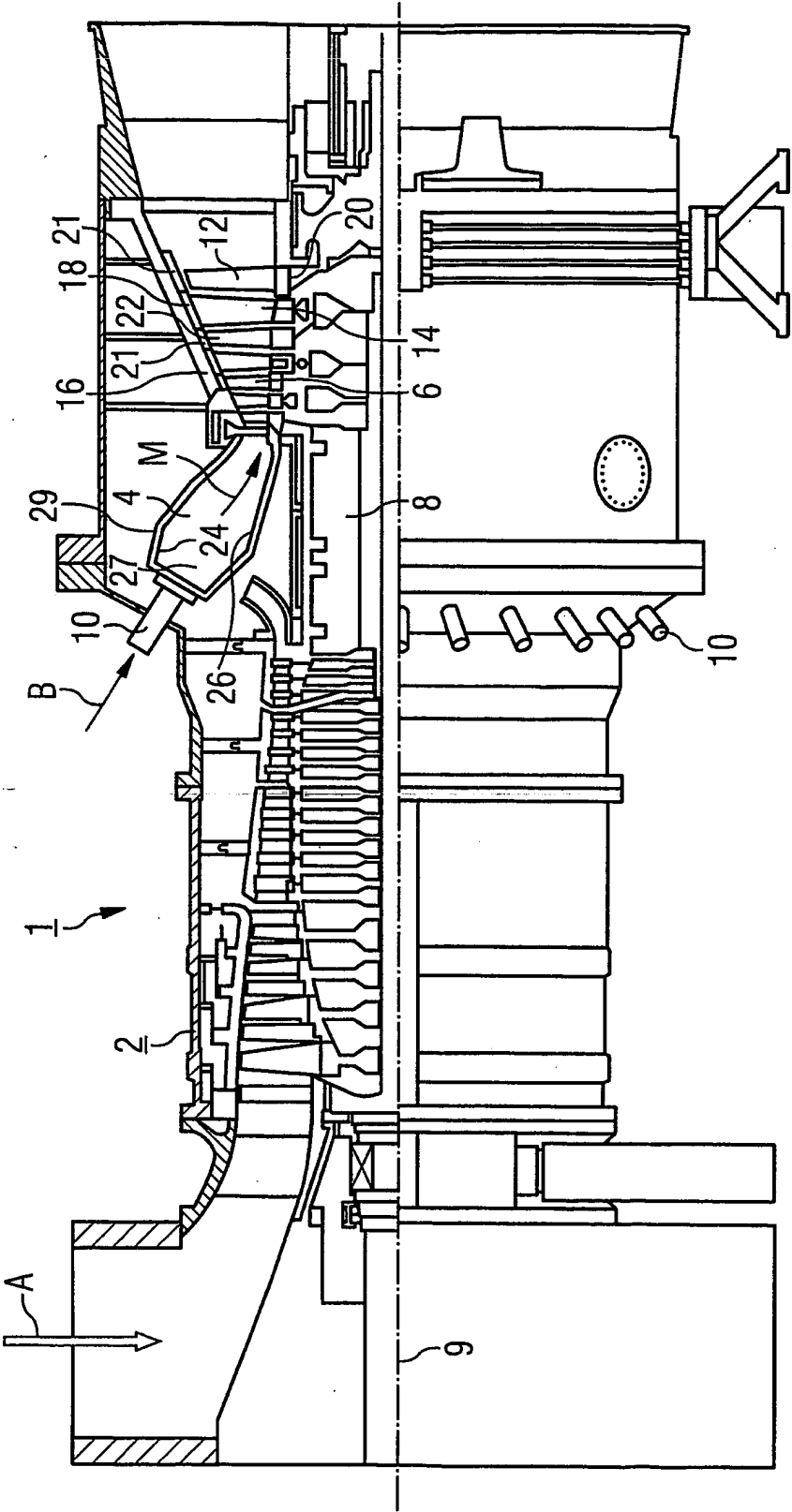


FIG 2

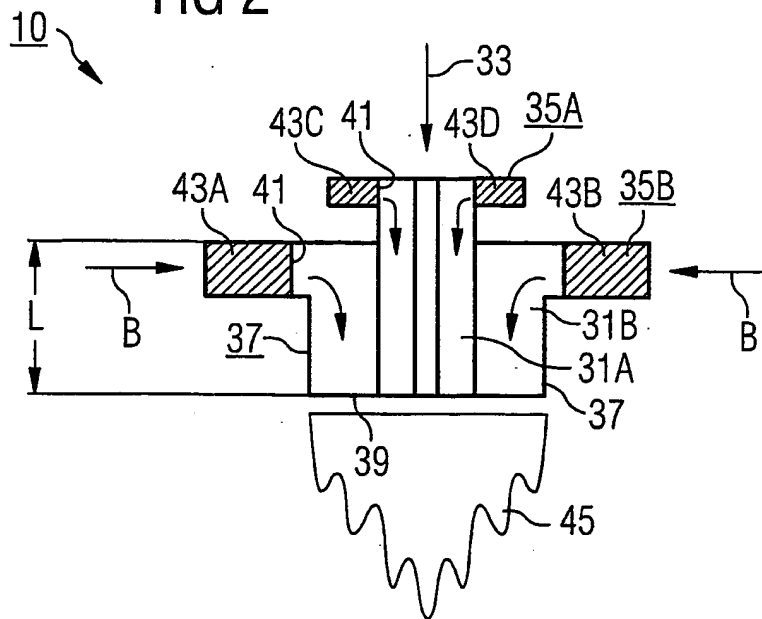


FIG 3

